Proceedings of KFIS 2001 Spring Conference, 2001. 5.

퍼지 이론을 이용한 악보의 모델링

Fuzzy Logic-based Modeling of a Score

손 세 호, 권 순 학
영남대학교 전자정보공학부

Seo H. Son and Soon H. Kwon
EECS, Yeungnam University
E-mail : m0040306@chunma.yeungnam.ac.kr

ABSTRACT

In this paper, we interpret a score as a time series and deal with the fuzzy logic-based modeling of it. The musical notes in a score represent a lot of information about the length of a sound and pitches, etc. In this paper, using melodies, tones and pitches in a score, we transform data on a score into a time series. Once more, we form the new time series by sliding a window through the time series. For analyzing the time series data, we make use of the Box-Jenkins's time series analysis. On the basis of the identified characteristics of time series, we construct the fuzzy model.

Keywords : Score, Time series, Sliding window, Autocorrelation function

I. 서 론

일반적으로 시계열 자료(time series data)란 주어진 정보를 일정한 시간, 즉 샘플링 간격으로 관측하여 기록한 자료를 말한다. 이러한 시계열 자료들은 주식시장의 주가, 특정 물품의 월별 판매량, 농작물의 년도별 생산량 등등이 있다[1]. 시계열 분석이란 관측된 자료들을 바탕으로 주어진 자료를 분석하여 법칙성을 발견하고, 이를 모델링하여 미래의 시계열을 예측하는 것을 뜻한다. 이러한 시계열 분석의 목적[2]은 첫째, 시간의 경과에 따라 나타난 자료들을 바탕으로 주어진 자료가 가지는 법칙성을 규명하는 것이다. 둘째, 현 시점까지 얻은 시계열 자료를 분석하여 미래시점에 대한 예측이다. 마지막으로 미래에 대한 예측이 가능하다면 미래의 시계열 자료들을 우리가 원하는 값이 되도록 제어하는 것이다. 대표적으로 경제 분야와 통신공학 및 자동제어, 화학공학의 많은 공학분야에 응용되고 있다.

시계열 분석방법은 시계열 자료들을 구성하는 요소들의 특성에 따라 선택하게 된다. 대표적인 분석 방법으로는 시계열 분해 방법과 Box-Jenkins 방법이 있다[1,2]. 시계열 분해 방법은 시계열의 변동요인인 추세변동, 계절변동, 순환변동, 그리고 불규칙변동 등을 분해할 수 있다는 가정하에서 시계열 자료를 분석하는 방법이며 각 변동을 추출하는 방법과 이동평균법, 지수 평활법과 같은 평활법이 있다. 이러한 분해법은 직관적이고 경험적인 분석방법으

로 이론적인 문제점을 가지고 있다. Box-Jenkins의 분석 방법은 시계열 모델 생성 단계인 모델 식별, 모델의 파라메터 추정, 모델의 적합성 검증과 생성된 모델을 사용하여 미래를 예측하는 예측으로 구성된다.

본 논문에서는 음악적 소리를 음악적 언어로 나타낸 악보를 일정한 특성을 가지는 시계열 자료로 재해석하여 Box- Jenkins의 방법과 퍼지 이론을 사용하여 분석하고자 한다. 먼저, 시계열 자료의 분석을 하기 위해 악보를 구성하는 여러 요소 중 음표만을 사용하여 시계열 자료로 재구성한다. 음표는 음의 길이와 음의 높이를 나타냄으로 음의 길이는 시간으로 음의 높이는 시간에 대응하는 출력으로 변환시킨다. 일반적인 시계열 자료들로 재구성된 악보의 자료를 슬라이딩 윈도우(sliding window)를 사용[3]하여 일정한 패턴을 가지는 시계열 자료로 재구성한 후 퍼지 이론과 시계열 분석 방법들을 통해 모델링하여 예측하고자 한다.

II. 악보의 시계열 모델링 방법

본 절에서는 음악적 소리를 음악적 언어로 표현한 악보를 시계열 자료화하는 방법과 시계열 자료로 재구성된 데이터들을 분석하여 모델링하는 방법을 제시한다.

악보는 보표, 음표와 숨표, 박자와 리듬, 음계 등등의 여러 가지 정보들에 의해 구성된다. 보는 음의 높낮이를, 음표는 음의 길이와 높낮이를, 쉼표는 음을 내지 않고 쉬는 때를 즉, 음의 길이만을, 음계는 기준 음 높이를 각각 나타낸다. 이런 정보들 중 음의 길이와 높낮이만을 사용하여 시계열 자료로 재구성한다. 음표와 쉼표는 표 1과 같이 구성되어 있다. 표 1과 같이 32분 음표와 쉼표를 1로 표현하여 악보에 나타난 음표와 쉼표를 시간영역의 정보로 재구성한다. 즉, 32분 음표와 쉼표를 샘플링 시간으로 사용한다. 그러면 16분 음표의 경우 같은 음 높이가 2번 반복된다. 다음으로 음의 높낮이를 시계열 자료에서 시간에 대응하는 출력으로 변환하여야 한다. 악보의 보표에 나타난 음의 높낮이 중 가장 낮은 것을 1로 하여 온음이 올라가면 1을 반음이 올라가면 0.5을 더한다.

표 1. 음표와 쉼표의 구성

기 호	명 칭	32분음표를 1로 표시
𝅘𝅥𝅰 , 𝅀	32분 음표, 쉼표	1
𝅘𝅥𝅯 , 𝄿	16분 음표, 쉼표	2
𝅘𝅥𝅮 , 𝄾	8분 음표, 쉼표	4
𝅘𝅥 , 𝄽	4분 음표, 쉼표	8
𝅗𝅥 , 𝄼	2분 음표, 쉼표	16
𝅝 , 𝄻	온 음표, 쉼표	32

이렇게 하여 악보에 나타난 음의 높낮이를 시계열 영역에서의 시간에 대한 출력으로 재구성한다. 단, 쉼표의 경우 음의 높낮이가 0이다.

일반적인 시계열 자료를 슬라이딩 윈도우를 사용하여 다음과 같이 재구성한다.

1. 주어진 시계열 자료 $X=\{x_1, x_2, ..., x_t\}$를 폭 w를 가지는 슬라이딩 윈도우를 통과시킨다.
$$S_n=\{x_n, .., x_{n+w-1}\} \quad, n=1,2,...,t-w+1$$
2. S_n을 일반화시킨 후 일정한 패턴들을 추출한다.
$$A=\{a_1, ..., a_k\}, \quad k=1,2,...$$
3. 추출한 패턴을 바탕으로 시계열 자료를 재구성한다.
$$Y=\{a_1, ..., a_i\}, \quad \forall i \in k$$

재구성된 시계열 자료를 Box-Jenkins의 시계열 분석 방법을 사용하여 시계열 특성을 추출한다. 이 특성을 이용하여 시계열이 가지고 있는 법칙성을 퍼지 규칙으로 구성한 후 시계열을 예측한다.

III. 모의실험 결과 및 검토

이 절에서는 바위섬[4]이라는 곡을 통해 앞에서 보인 알고리즘의 타당성을 보이고자 한다.

악보에 나타난 시각적 정보를 일반적인 시계열로 표현하면 그림 1과 같다.

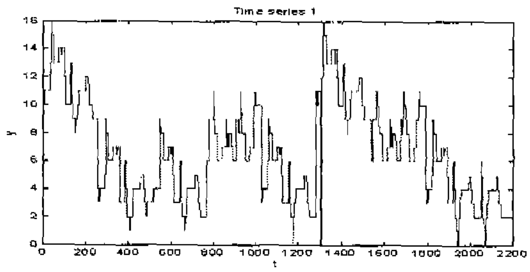


그림 1. 시계열로 표현된 악보(t=2184)

폭 w=3을 갖는 슬라이딩 윈도우를 사용하여 그림 1의 시계열을 변환하면 29개의 패턴 (a_k ,$k=1,2,..$)를 29가지는 시계열로 재구성된다. 즉, 재구성된 시계열은 원래의 시계열 자료를 압축한 것이다. 재구성된 시계열은 그림 2와 같다.

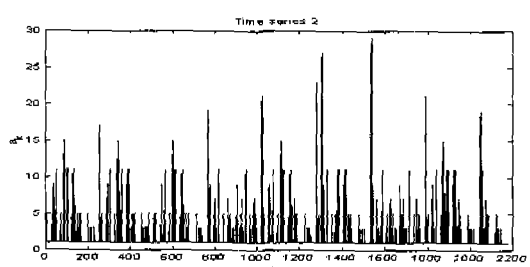


그림 2. 재구성된 시계열 자료(n=2182)

그림 3은 시계열 자료 2를 표본자기상관함수(sample autocorrelation function)를 사용하여 분석한 것이다. 그림 3에서 보면 표본자기상관함수의 값이 어느 일정한 구간마다 유사한 형태로 반복됨을 알 수 있다.

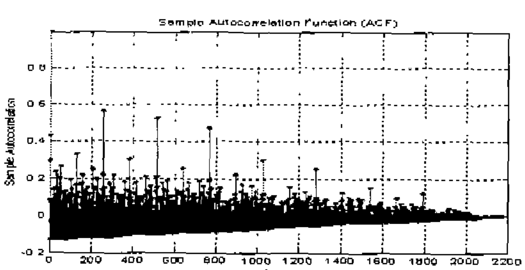
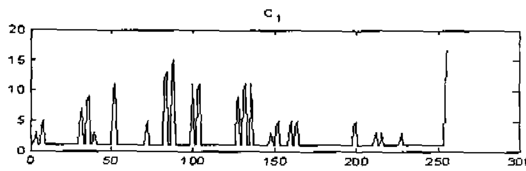
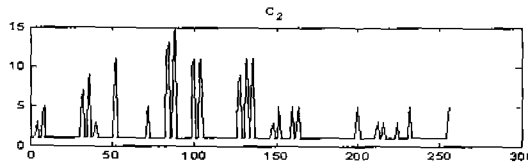


그림 3. 시계열 2의 표본자기상관함수

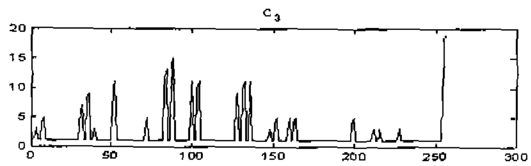
유사한 형태를 가지는 구간으로 시계열 2를 분리하면 그림 4와 같다.



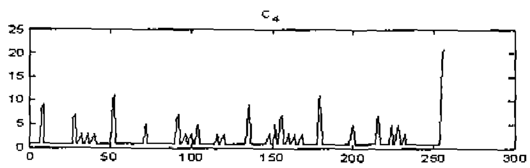
(a) 시계열 C_1(n=1～256)



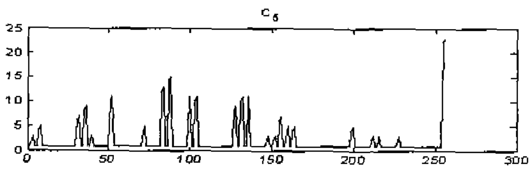
(b) 시계열 C_2(n=257～512)



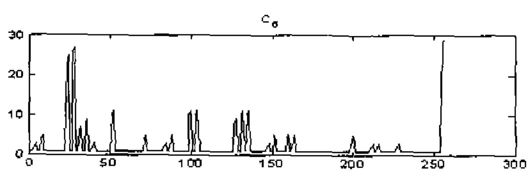
(c) 시계열 C_3(n=513～768)



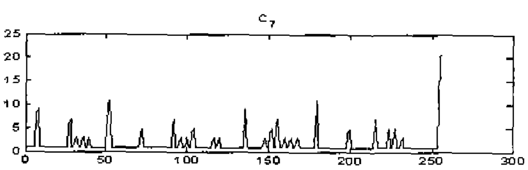
(d) 시계열 C_4(n=769～1024)



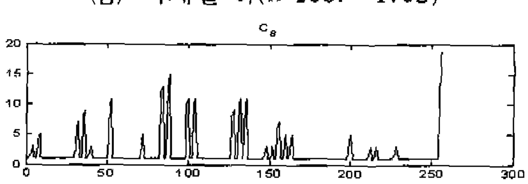
(e) 시계열 C_5(n=1025～1280)



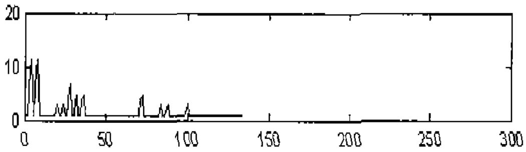
(f) 시계열 C_6(n=1281～1536)



(g) 시계열 C_7(n=1537～1792)



(h) 시계열 C_8(n=1793～2048)



(h) 시계열 C_9(n=2049~2182)

그림 4. 시계열 2의 부분 시계열

악보에서의 현재의 음은 이전의 음들과 밀접한 관련이 있다. 즉, 자기회귀모형의 성질을 가지고 있다. 이러한 관점에서 유사한 형태를 가지고 반복되는 구간을 T라 하면 (T+1)에서의 시계열 값은 T 동안의 값들의 영향을 받을 것이다. 이것을 퍼지 규칙으로 표현하면 조건부의 입력 변수 개수는 T개가 되며, 결론부의 출력 변수의 개수는 1개가 된다. 즉, 다음과 같은 퍼지 규칙으로 구성할 수 있다.

$$R^{(m)} : IF \ \ y_1 \text{ is } p_1 \text{ and } \ldots \text{ and } y_i \text{ is } p_i \quad THEN \ \ y_{i+1} \text{ is } p_{out}$$

단, $i = 1, 2, \ldots, T \quad P(a) = \{a_k | k = 1, 2, \ldots, 29\}$

$p_1, \ \ldots, \ p_i, \ p_{out} \in P(a)$

그림 5는 위의 퍼지 규칙을 이용하여 시계열 2를 예측한 것이다. 시계열 2의 자료 중 1800개는 관측된 자료로 사용하고 나머지는 예측결과와의 검증에 사용하였다.

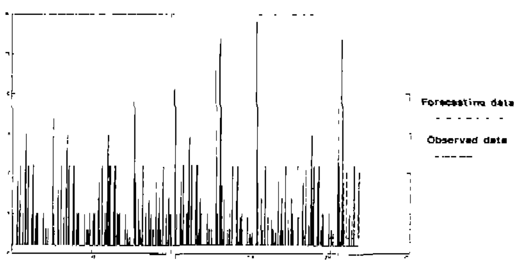


그림 5. 예측된 결과(시계열 2)

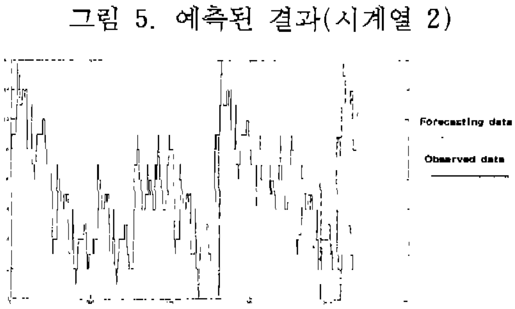


그림 6. 예측된 결과(시계열 1)

그림 5,6에서 알 수 있듯이 예측된 결과의 일부분은 각각의 실제 시계열과 거의 유사한 형태를 가진다. 하지만 마지막 부분의 결과는 실제의 자료와 많이 다르다. 그 이유는 하나의 음악이 끝날 때의 패턴은 그 음악에서 하나만 존재하여야 하기 때문에 실제 음악의 마지막 부분에 존재하게 된다. 즉, 마지막 부분의 예측에 필요한 정보는 관측된 자료에는 존재하지 않기 때문에 예측이 불가능하다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 음악적 소리를 음악적 언어로 표현한 악보를 시계열로 보고, 퍼지 이론을 이용한 악보의 모델링 방법을 제안하고 이의 타당성을 모의 실험을 통해 보였다. 모의 실험에서 알 수 있듯이 악보의 정보는 일정한 특성을 가지며 이 특성을 포함하는 구간보다 넓은 구간을 주기로 설정한다면 악보에 대한 시계열 예측은 어느 정도 가능하다.

향후 연구 과제로는 일반적인 시계열을 일정한 패턴을 가지는 시계열로 변환하는 최적의 방법, 퍼지 규칙에 사용한 입력 변수의 수를 최적화는 하는 방법과 여러 종류의 악보에 대한 연구를 통한 일반적 방법론의 도출 및 이의 응용이라 할 수 있다.

Ⅴ. 참고 문헌

[1] G.E.P.Box, G.M.Jenkins and G.C. Reinsel, *TIME SERIES ANALYSIS*, Prentice Hall, 1994.

[2] 조신섭, 공영숙 , 시계열 분석, , 1999.

[3] G.Das, K.Lin, H.Mannila, H.Mannila, G. Renganathan and P. Smyth, *"Rule discovery from time series,"* In Proceedings of the 4th International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 1998.

[4] 배창희, 바위섬, 을지악보, 2000.